

## **Estructura, composición y diversidad arbórea de dos áreas de Cerrado *sensu stricto* de la Chiquitanía (Santa Cruz, Bolivia)**

### **Structure, composition and tree diversity of two areas in the Cerrado *sensu stricto* in the Chiquitanía (Santa Cruz, Bolivia)**

**Daniel Villarroel<sup>1,2,3</sup>, Juan Carlos Catari<sup>1</sup>, Denis Calderon<sup>1</sup>,  
Ronald Mendez<sup>1</sup>& Ted Feldpausch<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Herbario del Oriente Boliviano, Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Casilla Postal 2489, Avenida Irala 565, Santa Cruz, Bolivia  
E-mail: danielvillarroel81@hotmail.com Autor de correspondencia

<sup>2</sup>Proyecto Diversidad de los Cerrados del Oriente Boliviano, Darwin Initiative, Oxford University-UAGRM, Avenida Irala Nro 565, Santa Cruz, Bolivia

<sup>3</sup>Programa de Post Grado en Botánica, Universidad de Brasilia, Campus universitario Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasilia, Distrito Federal, Brasil

<sup>4</sup>Earth and Biosphere Institute, School of Geography, University of Leeds, Leeds, LS2 9JT, Inglaterra

### **Resumen**

Se estudió dos áreas del Cerrado *sensu stricto*, del centro (estancia Cacarachi) y sur (Tucavaca) de la Chiquitanía (E de Bolivia), con el objetivo de comparar la estructura, composición y diversidad arbórea. Para este fin, se instaló una parcela permanente de muestreo de 1 ha para cada área, registrando todos los individuos  $\geq 10$  cm de DAP. Se analizó la frecuencia, abundancia, dominancia e Índice de Valor de Importancia por familias y especies. La diversidad fue calculada con los índices de Shannon Wiener y Simpson y se estimó la riqueza de especies con los modelos de *CHAO 2* y *BOOTSTRAP*. La similitud cualitativa y cuantitativa fue calculada con el índice de Jaccard y de Sørensen. Los resultados indicaron que las familias con mayor IVF en Cacarachi son Dilleniaceae, Anacardiaceae y Fabaceae y en Tucavaca: Sapindaceae, Bignoniaceae y Oleaceae. Las especies con mayor IVI en Cacarachi son *Curatella americana* y *Astronium fraxinifolium* y en Tucavaca fueron *Magonia pubescens*, *Tabebuia aurea*, *Linociera hassleriana* y *Astronium fraxinifolium*, estos dos grupos de especies representan más del 70% del IVI total de sus respectivas áreas, siendo determinantes para la fisionomía en cada comunidad vegetal. En Cacarachi, la distribución de individuos por clase diamétrica fue normal y equilibrada, en cambio en Tucavaca fue desproporcional, posiblemente debido a las quemadas anuales a la que está sometida. Los estimadores de riqueza indicaron que se registró a más del 80% de las especies calculadas para 1 ha por cada sitio, siendo Tucavaca la más diversa ( $H' = 1.8$ ,  $\lambda = 4.3$ ).

**Palabras clave:** Cerrado *sensu stricto*, Chiquitanía, Composición, Diversidad, Estructura.

### **Abstract**

We studied two areas of the Cerrado *sensu stricto*, middle (Cacarachi) and south (Tucavaca) of Chiquitanía (western Bolivia), in order to compare the structure, composition and tree diversity. To this end, we installed a permanent sample plot of 1 ha for each area, registering all individuals

$\geq 10$  cm dbh. We analyzed the frequency, abundance, dominance and Importance Value Index by families and species. Diversity was calculated using the Shannon Wiener and Simpson index, and estimated species richness with models of CHAO 2 and BOOTSTRAP. The qualitative and quantitative similarity was calculated with the Jaccard and Sørensen index. The results indicated that families with more IVF in Cacarachi are Dilleniaceae, Anacardiaceae and Fabaceae, and Sapindaceae, while in Tucavaca are Bignoniaceae and Oleaceae. The species with the highest IVI in Cacarachi are *Curatella americana* and *Astronium fraxinifolium*, and in Tucavaca: *Magonia pubescens*, *Tabebuia aurea*, *Linociera hassleriana* and *Astronium fraxinifolium*, these two groups of species represent more than 70% of the total IVI of their respective areas, to be decisive for determining physiognomy in each vegetal community. In Cacarachi, the distribution of individuals per diameter class was normal and equilibrated, while in Tucavaca it was disproportionate, possibly due to annual burning to which it is subjected. The richness estimates indicated that there was more than 80% of species calculated for 1 ha for each site, with Tucavaca being the most diverse ( $H' = 1.8$ ,  $\lambda = 4.3$ ).  
**Keywords:** Cerrado *sensu stricto*, Chiquitania, Composition, Diversity, Structure.

## Introducción

Los campos del Cerrado (*sensu lato*) en Bolivia están distribuidos principalmente y en mayor proporción sobre el escudo Precámbrico dentro del departamento de Santa Cruz, en las provincias Velasco, Ñuflo de Chávez, Chiquitos, Germán Busch y Ángel Sandoval (Beck *et al.* 1993, Navarro 2002, Ibsch *et al.* 2003, Navarro & Ferreira 2004); abarcando una superficie de aproximadamente 23,491 km<sup>2</sup> (Ibsch *et al.* 2003). El Cerrado *sensu lato* está conformado por cuatro fisionomías, que son campo limpo, campo sujo, cerrado *sensu stricto* y cerradão (Eiten 1972, Coutinho 1978, Beck *et al.* 1993, Navarro 2002, Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006), siendo los dos extremos fisionómicos el campo limpo (sábanas abiertas) y el cerradão (bosque seco bajo), llegándose a considerar al campo sujo y el Cerrado *sensu stricto* como ecotonos que anteceden una u otra fisionomía según el grado de cobertura leñosa (Coutinho 1978, Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006). Mientras que el Cerrado *sensu stricto* corresponde a la fisionomía que ocupa la mayor expansión de superficie en el bioma Cerrado de Brasil (Eiten 1972, Kronka *et al.* 1998) y Bolivia (Villarroel & Wood 2009, datos no publicados del Proyecto Cerrado), caracterizándose por estar compuestos por árboles y arbustos bajos,

inclinados, tortuosos, ramificados, con cortezas gruesas, casi siempre con evidencia de quemas y hojas rígidas y coriáceas (Navarro 2002, Ribeiro & Walter 2008). El tipo de suelo sobre el que se desarrolla el Cerrado, es generalmente ácido, con un pH entre 4.5-5.5, con carencia de fósforo y nitrógeno, y un elevado contenido de aluminio (Reatto *et al.* 2008, Ribeiro & Walter 2008).

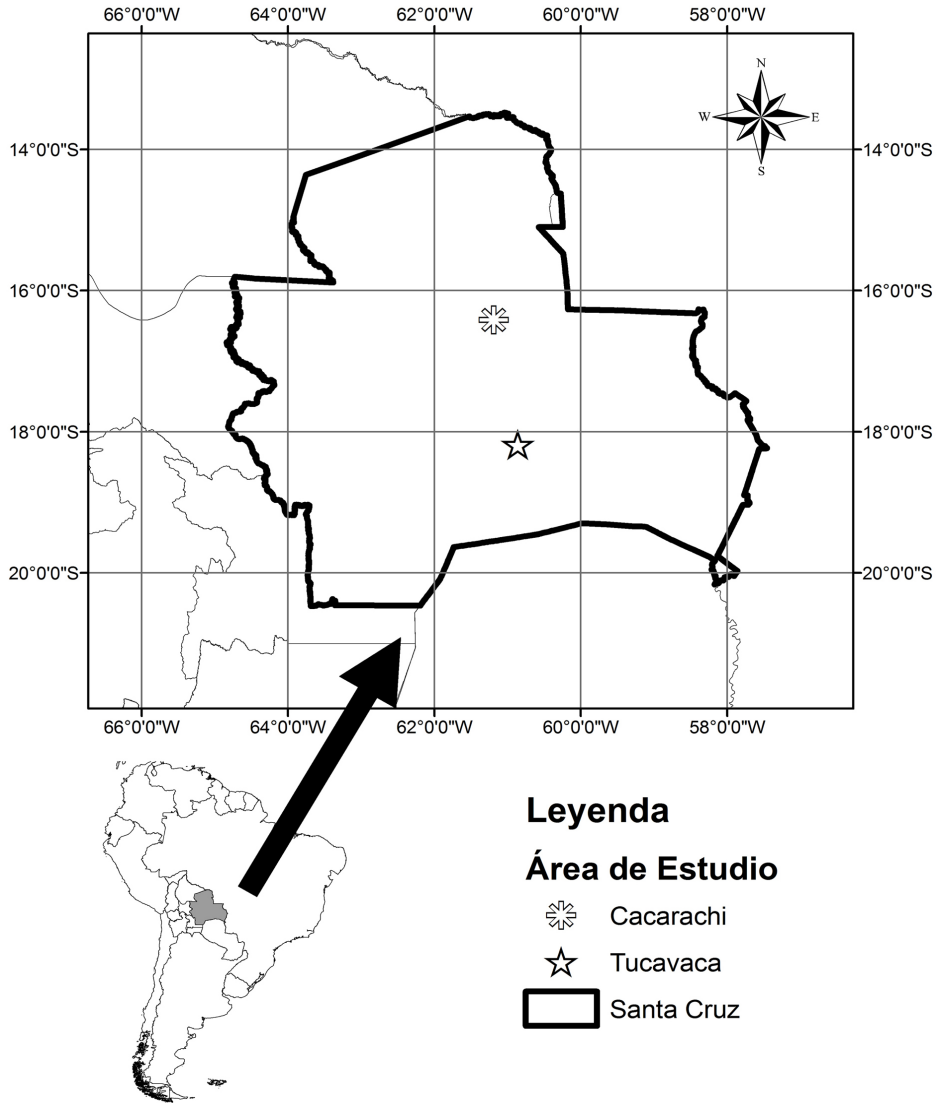
Los estudios publicados sobre la composición de especies del Cerrado boliviano, en su mayoría son de carácter descriptivo (cualitativo), siendo los más conocidos los realizados por Beck *et al.* (1993), Killeen & Schulenberg (1998), Navarro (2002), Ibsch *et al.* 2003 y Navarro & Ferreira (2004). Entre los pocos trabajos cuantitativos publicados, se conocen el de Mostacedo & Killeen (1997) para la zona del Parque Nacional Noel Kempff Mercado a partir de la utilización de líneas de intersección y el de Villarroel & Centurión (datos no publicados EEIA cerro Mutún) para la zona del cerro Mutún, mediante la implementación de parcelas temporales de muestreo de 0.1 ha.

Por tanto, el presente estudio describe y compara la estructura, composición y diversidad de árboles de dos áreas del Cerrado *sensu stricto* ubicados en el centro y sur de la Chiquitania, con la finalidad de aportar información de esta vegetación tan poco estudiada cuantitativamente en Bolivia.

### Área de estudio

Se seleccionaron dos áreas del Cerrado *sensu stricto*, ubicadas en el centro y sur de la Chiquitanía (Santa Cruz) (Fig. 1). Estas dos áreas gozan de un buen estado de conservación en comparación con el resto de la región y

áreas circundantes, que han estado sujetas a la sustitución de la vegetación natural por pasturas introducidas para la implementación de la práctica de ganadería extensiva. Además, los sitios seleccionados cuentan con el compromiso de conservación por parte de sus respectivos propietarios, con el fin de realizar futuros



**Figura 1.** Ubicación de las parcelas permanentes de muestreo de los cerrados *sensu stricto* de Cacarachi y Tucavaca en el departamento de Santa Cruz, Bolivia.

estudios. A continuación se describen cada una de estas áreas:

### Estancia Cacarachi (zona central)

Está ubicada en la zona central de la Chiquitania, a 35 km al S de San Ignacio de Velasco (Prov. Velasco), en la comunidad San Juan (16.4118°N, 61.1881°W), a una altitud de 430 m y tiene una precipitación promedio anual de 1.149 mm (<http://www.worldclim.org/download>). Entre las principales comunidades vegetales se encuentran el Cerrado *sensu stricto*, campos húmedos, cerradão y bosque chiquitano. La principal actividad que se realiza en la estancia es la ganadería, tendiendo sectores de pastoreo, conformado por pastos introducidos, y otros con pastos naturales (lugar de muestreo) que conserva la composición natural de la vegetación. A través de indagaciones en el terreno, consultas a los pobladores y propietarios de la estancia, se conoció que la zona sufrió una quema en el año 2006.

### Tucavaca (zona Sur)

Está ubicada a aproximadamente 55 km al S de San José de Chiquitos (18.1827°N, 60.8589°W), entre los límites de las provincias Chiquitos y Cordillera, sobre el camino al ex campamento petrolero "Tucavaca" a una altitud de 300 m y con una precipitación promedio anual de 878 mm (<http://www.worldclim.org/download>). Las comunidades vegetales observadas en el área son del Cerrado *sensu stricto* (también conocida en la zona como *abayoy*), chaparrales chaqueños y bosques transicionales chiquitano-chaqueño. El uso actual y tradicional es el ganadero, a partir del ramoneo y de pastos nativos, ya que no se observó la presencia de pastos introducidos. Mediante indagaciones en el terreno realizadas en el año 2007 y 2010, y por consulta a los estancieros de la zona, se conoció que el área está sujeta a quemas anuales, siendo éstas de origen antropogénico.

## Métodos

### Instalación de parcelas

Se estableció una parcela permanente de muestreo (PPM) por cada área estudiada, entre enero y febrero del año 2007, utilizando el protocolo de la RAINFOR (Phillips *et al.* 2010). Previamente a la instalación de las parcelas se realizó un recorrido exhaustivo del área, buscando áreas libres de transición y/o efecto de borde de las comunidades vegetales circundantes.

Cada parcela instalada tiene una superficie de 1 ha con un diseño de 100 x 100 m, subdivida en 25 subparcelas de 20 x 20 m cada una. Se registró y marcó con placas a todos los individuos  $\geq$  a 10 cm de DAP (diámetro a la altura del pecho, medidos a los 1.30 m del suelo), las placas fueron colocadas con clavos de aluminio a 20 cm por encima del punto de medición del diámetro (1.5 m). La toma de datos fue registrada en planillas estandarizadas para la instalación de parcelas permanentes, registrándose información como nombre común, nombre de la especie, familia, altura, sanidad del árbol, calidad de fuste y la posición en X y Y.

### Análisis de datos

Las planillas de campo fueron digitados en hojas electrónicas del programa Excel para facilitar la uniformización y ordenación de la información, realizando después los cálculos y análisis siguientes, incluyendo área basal:

#### Índice de valor de importancia ecológica

El valor de importancia ecológica se obtuvo mediante los cálculos de los parámetros clásicos utilizados para evaluar la vegetación, que son la frecuencia, abundancia y dominancia expresados de manera absoluta y relativa, tanto para familias como para las especies registradas en cada uno de los lugares muestreados.

El resultado de la sumatoria de estos tres parámetros fue el valor de importancia ecológica, calculada para cada familia (IVF) y especie (IVI), que fue expresado sobre el 100% (Matteucci & Colma 1982, Mostacedo & Fredericksen 2000).

### Estructura horizontal

La estructura horizontal fue determinada mediante la acumulación de individuos en rangos diamétricos, los cuales son denominados como clases diamétricas (Lamprecht 1990). Los resultados fueron expresados en histogramas. Sin embargo, se modificó el valor del DAP indicado por este autor para la categorización de los rangos de las clases diamétricas, considerándolas a cada 5 cm, en vez de cada 10 cm que Lamprecht (1990) utiliza. Las clases de Lamprecht han sido empleadas para la evaluación de la estructura horizontal en bosques húmedos tropicales, donde existen una mayor densidad de árboles, los cuales llegan a tener individuos con diámetros mucho mayores a los encontrados en ecosistemas de sabanas como es el caso del cerrado *sensu lato* en general.

### Riqueza y diversidad

La riqueza arbórea fue cuantificada mediante la determinación del número de familias, géneros y especies por cada sitio muestreado (Mostacedo & Fredericksen, 2000, Moreno, 2001). También se estimó la riqueza de especies por cada áreas, mediante los modelos matemáticos de CHAO 2 (Chao & Lee, 1992) y BOOTSTRAP (Palmer, 1990) con el programa *Estimate S7.5.1*. Los datos observados y estimados fueron representados mediante curvas de acumulación de área y especie.

La diversidad alfa fue determinada mediante la utilización de índices diversidad, siendo uno de equidad de especies (Shannon Wiener -  $H'$ ) y otro dominancia (Simpson -  $\lambda$ ) (Moreno 2001, Mostacedo & Fredericksen 2000), estos cálculos

se obtuvieron con el programa *Diversity 2.02*. El grado de similitud de especies entre parcelas, se determinó utilizando el índice de Sørensen cualitativo ( $I_s$ ) y cuantitativo ( $I_{scuat}$ ), el cual expresa la similitud en porcentaje; y también con el coeficiente de similitud de Jaccard ( $I_j$ ), que expresa valores que van de 0 (nada similar) a 1 (completamente similar) (Magurran 1988, Moreno 2001, Mostacedo & Fredericksen 2000).

## Resultados

### Datos generales

En la estancia Cacarachi (zona central), se cuantificó un total de 123 ind/ha, de los cuales el 20.6% (32 individuos) fueron multifustes (ramifican por debajo de un DAP  $\geq 10$  cm), midiéndose un total de 155 fustes. El área basal acumulada fue de 2.7 m<sup>2</sup>/ha. Mientras que en Tucavaca (zona sur), la densidad de árboles fue mayor que en la estancia Cacarachi, con un número de 148 ind/ha, de los cuales el 3.4% (5 individuos) son multifustes, llegándose a medir un total de 153 fustes. El área basal calculada fue de 4 m<sup>2</sup>/ha.

### Valor de importancia ecológica por familias (IVF)

Entre las familias con mayor IVF fue Dilleniaceae (58.4%), por ser la más frecuente (40.3%), abundante (63.9%) y dominante (71%), seguida de otras familias como Anacardiaceae (17.3%) y Fabaceae (10.1%) (Tabla 1). Cabe resaltar que Dilleniaceae superó con más de un 40% de IVF a las demás familias registradas.

En el Cerrado *sensu stricto* de Tucavaca, la familia con mayor IVF fue Sapindaceae, acumulando el 40.2% del valor total (Tabla 1), siendo la más frecuente (31.3%), abundante (46.4%) y dominante (42.8%) del área. Sapindaceae, que está representada dentro de la parcela por dos especies (*Magonia pubescens* y *Dilodendron bipinnatum*),

**Tabla 1.** Índices de valor de importancia ecológica de las familias registradas en el Cerrado *sensu stricto* de Cacarachi y Tucavaca. Leyenda: FR = frecuencia relativa, AR = abundancia relativa, DR = dominancia relativa, IVF = índice de valor de importancia ecológica de familias.

Lugar	Familia	FR	AR	DR	IVF
<i>Estancia Cacarachi</i>	Dilleniaceae	40.3	63.9	71.0	58.4
	Anacardiaceae	25.8	15.5	10.6	17.3
	Fabaceae	11.3	10.3	8.7	10.1
	Sapindaceae	12.9	5.8	4.8	7.8
	Bignoniaceae	6.5	2.6	3.7	4.3
	Vochysiaceae	1.6	1.3	0.6	1.2
	Bombacaceae	1.6	0.6	0.6	1.0
	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<i>Tucavaca</i>	Sapindaceae	31.3	46.4	42.8	40.2
	Bignoniaceae	28.4	28.8	26.5	27.9
	Oleaceae	19.4	11.8	16.7	15.9
	Anacardiaceae	11.9	9.2	9.8	10.3
	Arecaceae	4.5	2.0	2.5	3.0
	Fabaceae	1.5	0.7	1.0	1.0
	Bombacaceae	1.5	0.7	0.6	0.9
	Boraginaceae	1.5	0.7	0.3	0.8
	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

debiendo su mayor peso ecológico al aporte de *Magonia pubescens*.

Comparando los IVF determinados para las familias encontradas en ambas áreas, se observó que Sapindaceae en Tucavaca incrementó sus valores de frecuencia, abundancia y dominancia en relación a los que obtuvo en la estancia Cacarachi, lo cual se manifestó en los valores totales de IVF (Cacarachi IVF= 7.8%; Tucavaca IVF= 40.2%). Este patrón, en el incremento y descenso del IVF, también se observó en otras familias como Bignoniaceae, que en la estancia Cacarachi presentó un 4.3% de IVF, incrementándose hasta un 29.9% en Tucavaca. Lo contrario de Fabaceae, que fue la tercera familia más importante en la estancia Cacarachi (IVF= 7.8%) y que bajó hasta el 1% en Tucavaca.

#### Valor de importancia ecológica por especie (IVI)

En el cerrado *sensu stricto* de la estancia Cacarachi, se determinó a *Curatella americana* como la especie con el mayor IVI (57.6%), seguida de *Astronium fraxinifolium* (16.8%) y *Magonia pubescens* (7.6%). Estas tres especies acumulan a más del 80% del IVI total (Tabla 2), por lo que la fisionomía en la estancia Cacarachi estaría determinada por estas tres especies. La especie con mayor IVI de Tucavaca fue *Magonia pubescens* (36.7%) (Tabla 2), por ser la más frecuente (25.9%), abundante (44.4%) y dominante (39.9%), lo contrario de *Dilodendron bipinnatum*, que es una especie de la misma familia, y que posee un bajo valor de IVI (2.9%).



**Tabla 2.** Especies con mayor índice de valor de importancia ecológica en el cerrado *sensu stricto* de Cacarachi y Tucavaca. Leyenda: FR = frecuencia relativa, AR = abundancia relativa, DR = dominancia relativa, IVI = índice de valor de importancia ecológica de especies.

Lugar	Especie	FA	FR	AA	AR	DA	DR	IVI
Estancia Cacarachi	<i>Curatella americana</i> L.	25	37.9	99	63.9	1.9	71.0	57.6
	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	16	24.2	24	15.5	0.3	10.6	16.8
	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	8	12.1	9	5.8	0.1	4.8	7.6
	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore	4	6.1	4	2.6	0.1	3.7	4.1
	<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	3	4.5	4	2.6	0.1	3.4	3.5
	<i>Dimorphandra gardneriana</i> Tul.	2	3.0	6	3.9	0.1	2.7	3.2
	<i>Stryphnodendron obovatum</i> Benth.	3	4.5	3	1.9	0.0	1.5	2.6
	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	2	3.0	2	1.3	0.0	0.6	1.6
	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	1	1.5	2	1.3	0.0	0.6	1.1
	<i>Stryphnodendron fissuratum</i> Martins	1	1.5	1	0.6	0.0	0.6	0.9
	<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart. & Zucc.) A. Robyns	1	1.5	1	0.6	0.0	0.6	0.9
<b>Total</b>		<b>66</b>	<b>100.0</b>	<b>155</b>	<b>100.0</b>	<b>2.7</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
Tucavaca	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	21	25.9	68	44.4	1.6	39.9	36.7
	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore	13	16.0	22	14.4	0.6	15.7	15.4
	<i>Linociera hassleriana</i> (Chodat) Hassl.	13	16.0	18	11.8	0.7	16.7	14.8
	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	7	8.6	10	6.5	0.4	8.9	8.0
	<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.	7	8.6	11	7.2	0.2	6.3	7.4
	<i>Tabebuia selachidentata</i> A.H. Gentry	8	9.9	11	7.2	0.2	4.4	7.2
	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	3	3.7	3	2.0	0.1	3.0	2.9
	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	3	3.7	3	2.0	0.1	2.5	2.7
	<i>Astronium undeuva</i> (Allemão) Engl.	3	3.7	4	2.6	0.0	0.9	2.4
	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	1	1.2	1	0.7	0.0	1.0	0.9
	<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart. & Zucc.) A. Robyns	1	1.2	1	0.7	0.0	0.6	0.8
<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A. DC.	1	1.2	1	0.7	0.0	0.3	0.7	
<b>Total</b>		<b>81</b>	<b>100.0</b>	<b>153</b>	<b>100.0</b>	<b>4.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

Otras especies que ocupan los primeros lugares en IVI de Tucavaca son *Tabebuia aurea* (15.4%), *Linocierahassleriana* (14.8%) y *Astronium undeuva* (8%), que junto a *Magonia pubescens* acumulan a más del 70% del valor total de IVI del Cerrado *sensu stricto* del área.

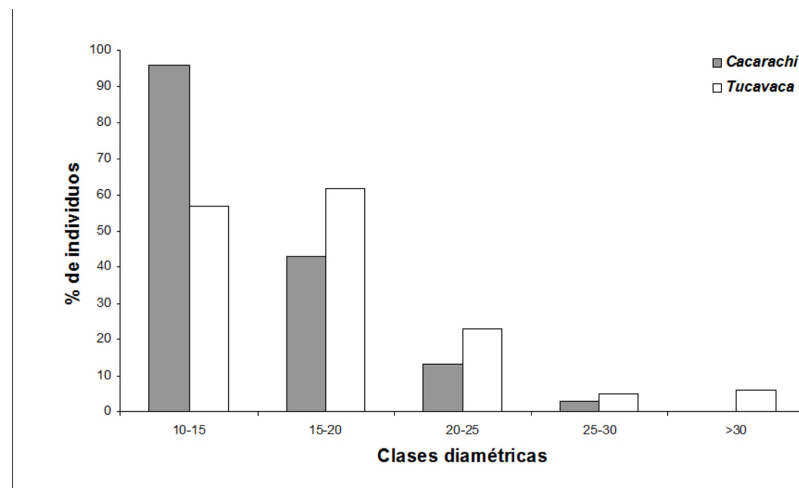
Disminuciones e incrementos en el IVI de

las especies que se comparten en las dos áreas estudiadas fueron observadas en *Astronium fraxinifolium* y *Tabebuia aurea*, ya que *A. fraxinifolium* disminuyó de 16.8% desde la zona central a 8% en la zona Sur. En cambio *T. aurea* incrementó su IVI de 4.1% desde la estancia Cacarachi a 15.4% en Tucavaca.

## Estructura horizontal

En la estancia Cacarachi, el histograma que representa la estructura horizontal del Cerrado *sensu stricto* (Figura 2) mostró un patrón de distribución de individuos normal y equilibrada, formando la denominada “J” invertida. Existe una mayor densidad de árboles en las clases diamétricas menores y disminuye gradualmente a medida que las clases se van incrementando. En cambio, en la zona de Tucavaca, el histograma indicó un cierto

desequilibrio en la distribución de los árboles en las clases diamétricas menores, puesto que la mayor cantidad de árboles estuvo acumulada en la segunda clase diamétrica (15-20), y no así en la primera (10-15), como ocurre normalmente. Este fenómeno se considera como anormal, ya que el tener una mayor densidad de individuos en la clase diamétrica inicial garantizaría la subsistencia a futuro de las clases mayores ante los procesos naturales de dinámica y demás factores de presión externos.



**Figura 2.** Distribución del número de individuos por clases diamétricas de los cerrados *sensu stricto* de Cacarachi y Tucavaca.

## Diversidad

### *Riqueza de especies*

Los resultados indican que la zona con mayor riqueza de taxones por hectárea fue Tucavaca, estando representada por ocho familias., 10 géneros y 12 especies (Tabla 3). Se observó una variabilidad en la composición de géneros y especies por familia, ya que las familias con mayor riqueza en un área, no mantuvieron sus valores en la otra. Esto se observó en Fabaceae, que presentó una mayor riqueza de especies en la estancia Cacarachi (3 gén.; 5 spp.) respecto

a la encontrada en Tucavaca (1 gén.; 1 sp.); lo contrario sucedió con Bignoniaceae, que en Tucavaca presentó al género *Jacaranda* con 1 sp. y *Tabebuia* con dos especies y en la Estancia Cacarachi se registró tan solo a *Tabebuia aurea*. Por lo cual, la variabilidad en la composición de especies entre ambas áreas fue evidente.

### *Curvas de acumulación de especies*

En la estancia Cacarachi, la estabilización de la curva de acumulación área vs. especie, ocurrió a partir de la subparcela 22 (Figura 3a). Los estimadores de riqueza aplicados



**Tabla 3.** Riqueza de géneros y especies por familias registradas en las parcelas permanentes de muestreo del Cerrado *sensu stricto* de Cacarachi y Tucavaca.

<i>Estancia Cacarachi</i>			<i>Tucavaca</i>		
Familia	Género	Especie	Familia	Género	Especie
Fabaceae	3	5	Bignoniaceae	2	3
Anacardiaceae	1	1	Sapindaceae	2	2
Bignoniaceae	1	1	Anacardiaceae	1	2
Bombacaceae	1	1	Arecaceae	1	1
Dilleniaceae	1	1	Bombacaceae	1	1
Sapindaceae	1	1	Boraginaceae	1	1
Vochysiaceae	1	1	Fabaceae	1	1
-	-	-	Oleaceae	1	1
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>12</b>

indican que el número de especies registradas en la parcela, estarían representando al 84.6% según CHAO 2 o al 91.7% según BOOTSTRAP del total de especies que se podrían encontrar sobre la superficie evaluada. En Tucavaca, la curva de acumulación área vs. especie, también quedó estabilizada a partir de la subparcela 22 (Figura 3b), tal como ocurrió en Cacarachi. Los estimadores de riqueza indican que la cantidad de especies registradas, estarían representando al 80% según CHAO 2 o al 92.3% según BOOTSTRAP, del total de las especies que se podrían obtener en la superficie evaluada. Por tanto, el área con mayor riqueza de especies por hectárea, sería la zona sur y en ambos casos la superficie utilizada sería representativa para la descripción de la estructura y composición de árboles en el cerrado *sensu stricto*.

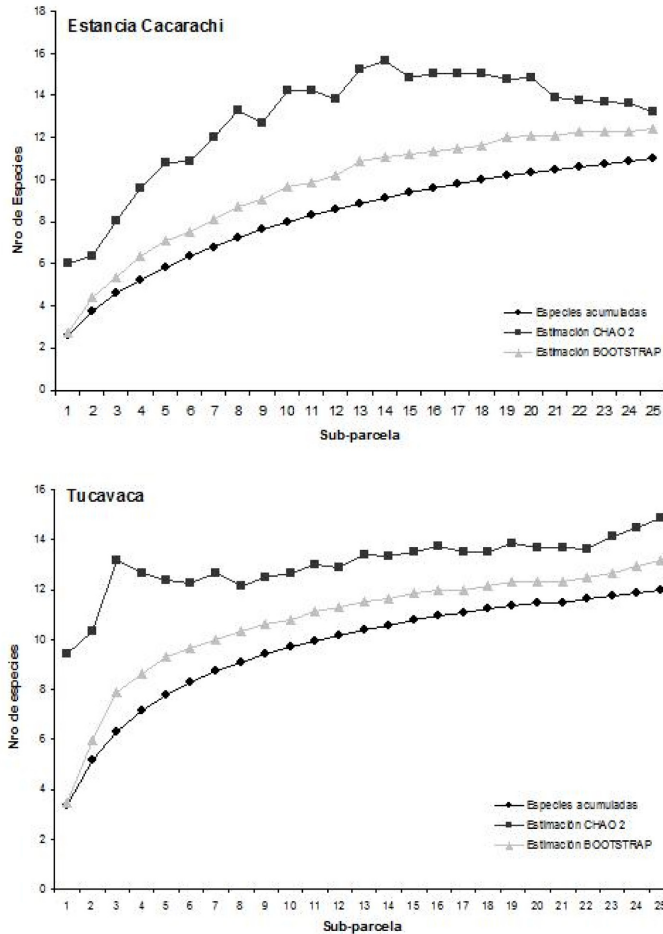
#### *Diversidad alfa y similitud*

La zona con mayor diversidad arbórea por hectárea se la obtuvo en Tucavaca, determinada tanto por los índices de dominancia ( $\lambda=4.3$ ) como equidad ( $H'=1.5$ ) (Tabla 4). Los cálculos de similitud cualitativos y cuantitativos, indicaron que las dos áreas son diferentes, teniendo una similitud inferior al 35% (Tabla 4).

El número de especies compartidas entre ambos sitios es de cuatro, de un total de 11 especies registradas en la estancia Cacarachi y 12 de Tucavaca. Cabe destacar que dichas especies compartidas tienen valores de abundancia muy diferentes (*Astronium faxinifolium* 4 ind/ha en Cacarachi y 10 ind/ha en Tucavaca; *Tabebuia aurea* 4 ind/ha en Cacarachi y 22 ind/ha en Tucavaca; *Magonia pubescens* 9 ind/ha en Cacarachi y 68 ind/ha en Tucavaca; *Pseudobombax longiflorum* 1 ind/ha en cada lugar), lo que indica que ambas comunidades vegetales son diferentes tanto en composición como en estructura.

#### **Discusión**

Fue muy complicado el poder realizar comparaciones precisas con los resultados de otras investigaciones ejecutadas dentro del Cerrado *sensu stricto* de Bolivia (Villaruel & Centurión, datos no publicados EEIA cerro Mutún) y de Brasil (Ratter *et al.* 2003, Borges & Shepherd 2005, Felfili & Silva Júnior 2005, Felfili & Fagg 2007, Neri *et al.* 2007). Esto debido a la gran variabilidad metodológica aplicada para el estudio del Cerrado *sensu stricto*, variando desde los criterios de diseño (superficie y forma del área de muestreo) hasta



**Figura 3.** Curvas de acumulación áreas vs. especies y estimaciones de riqueza de los cerrados *sensu stricto* de la estancia Cacarachi (a) y Tucavaca (b).

los factores discriminantes para la toma de datos (diámetro mínimo y altura de medición de diámetro), ya que no existe una metodología estandarizada como las establecidas por Gentry (1982) o Phillips *et al.* (2010) para los estudios de estructura y composición en los bosques húmedos tropicales. En diversos estudios de estructura y composición en comunidades del Cerrado *sensu stricto*, los valores de importancia ecológica se agrupan generalmente entre las primeras cinco familias y especies, llegando

a acumular generalmente entre 55 ó 70% del IVF o IVI total (Saporetti Júnior *et al.* 2003, Borges & Shepherd 2005, Felfili & Fagg 2007, Neri *et al.* 2007, Villarroel & Centurión (datos no publicados EEIA cerro Mutún)). Este patrón también fue observado en nuestros resultados, lo cual nos indica que esta fisionomía estaría siendo determinada por un reducido número de familias y especies. Muy pocos estudios mencionan a Dilleniaceae o *Curatella americana* entre los taxones más importantes en el Cerrado

**Tabla 4.** Valores de diversidad de los índices de Shannon Wiener ( $H'$ ) y Simpson ( $\lambda$ ), y similaridad de Sørensen cualitativo ( $I_s$ ), cuantitativo ( $I_{scuat}$ ) y Jaccard ( $I_j$ ) calculados para las parcelas permanentes de muestreo del Cerrado *sensu stricto* de Cacarachi y Tucavaca.

Lugar	Diversidad		Similaridad (%)		
	$H'$	$\lambda$	$I_S$	$I_{Scuant}$	$I_j$
<i>Estancia Cacarachi</i>	1.5	2.9	34.7	35.4	21
<i>Tucavaca</i>	1.8	4.3			

*sensu stricto* del sector central, norte, sur y este de Brasil (Saporetti Júnior *et al.* 2003, Felfili & Fagg 2007, Neri *et al.* 2007) y sureste de Bolivia (Villaruel & Centurión, datos no publicados EEIA cerro Mutún), siendo aparentemente el extremo oeste del Cerrado donde alcanza las mejores condiciones ambientales para establecerse con un mayor peso ecológico, como ya lo reportó Borges & Shepherd (2005) para el estado de Mato Grosso.

Por otra parte, *Qualea grandiflora*, que representa el 1.1% del IVI en la estancia Cacarachi, generalmente alcanza a más del 10% del IVI total en toda la región del Cerrado *sensu stricto* de Brasil (Ratter *et al.* 2003). En el sureste de Bolivia, en la zona del cerro Mutún, Villaruel & Centurión (Obs. Per. EEIA cerro Mutún), reportaron a esta especie con un IVI de 6%. En sabanas tipo cerrado del subandino sur de Santa Cruz (Bolivia), *Q. grandiflora* es considerada como una especie muy rara, debido a que su densidad, frecuencia y abundancia es baja. Este patrón en la disminución del IVI en dirección este – oeste está relacionada con las condiciones medioambientales que van cambiando gradualmente de un extremo a otro. *Magonia pubescens*, especie que ocupó el tercer lugar entre las de mayor peso ecológico (IVI) en la estancia Cacarachi y el primero en Tucavaca, es poco mencionada en los estudios realizados dentro de esta fisionomía en Brasil, ya que Ratter *et al.* (2003) y Campos *et al.* (2006) indican que es típica del cerradão, siendo un bioindicador de suelos ricos en nutrientes al igual que *Terminalia argentea*, *Callisthene*

*fasciculata* y *Luhea paniculada*. Este postulado sería contradictorio a los resultados aquí encontrados, ya que *M. pubescens* se desarrolla y aporta significativamente a la estructura del cerrado *sensu stricto* en la estancia Cacarachi y Tucavaca, donde comparten el hábitat con la gramínea *Elyonurus muticus*, que es considerada como una especie típica de suelos con una baja cantidad de nutrientes, así como lo determinó Rodrigues (1999), al analizar y comprar áreas con y sin presencia de fuego en el cerrado de Mato grosso do Sul.

Además de lo expresado por Rodrigues (1999), *E. muticus*, es una especie clasificada como C4, lo que le permite tener una alta tasa fotosintética, especialmente en zonas con época seca prolongada, lo cual asociado con los suelos pobres en nutrientes, llegan a crear condiciones adecuadas para su establecimiento y desarrollo (Klink 1992; Rodrigues 1999). Sin embargo, el que *Magonia pubescens* se presente con un alto IVI dentro de esta fisionomía y bajo este tipo de características abióticas, indica que su plasticidad fisiológica es alta.

En la estancia Cacarachi, la distribución de las densidades de árboles por clases diamétricas indicó un patrón equilibrado y normal, teniendo una mayor cantidad de individuos en la clase 10-15 y con una disminución gradual de individuos a medida que las clases incrementaban sus valores diamétricos. Esto podría interpretarse que las comunidades vegetales tendrían su subsistencia garantizada a lo largo del tiempo, ante los fenómenos de una alta mortalidad, baja natalidad, perturbaciones y competencias

intra e inter específicas (Lamprecht 1990, Araujo-Murakami *et al.* 2005). Si bien, el fuego es considerado como el principal regulador de la dinámica sucesional de las fisionomías que componen el Cerrado *sensu lato* (Hoffmann & Moreira 2002, Henriques 2005, Soares *et al.* 2006), una alta frecuencia de quemas puede llegar a causar la muerte de los individuos arbóreos más jóvenes (clases menores), aun con todos los mecanismos adaptativos que las especies del cerrado han desarrollado para soportar dicho factor de impacto, produciendo como resultado, una desproporción en la distribución de densidades de árboles a medida que las clases diamétricas se incrementan, como se ha observado en Tucavaca, donde la frecuencia de quemas es anual. Por tanto, el resultado de una alta frecuencia de quemas, originaría un proceso desabanización, como podría estar ocurriendo en Tucavaca, ya que al existir una baja densidad de árboles en las clases diamétricas me1a *americana* y *Qualea grandiflora* registradas en la estancia Cacarachi son consideradas de amplia distribución, puesto que se presentan en más del 50% de la superficie del bioma Cerrado en Brasil (Ratter *et al.* 2003). A excepción de *D. mollis*, este conjunto de especies en Bolivia llegan a distribuirse hasta el subandinosur del departamento de Santa Cruz e inclusive hasta Tarija. La baja similitud en la composición de especies y las variaciones estructurales entre las comunidades vegetales de Tucavaca y la Estancia Cacarachi, así como en otras zonas del Cerrado *sensu stricto* de Brasil y Bolivia son atribuidos a una serie de factores, tales como edáficos (tipo de suelo, profundidad, textura, estructura, fertilidad, capacidad de drenaje), perturbaciones antropogénicas (Pivello & Coutinho 1996), frecuencia de quemas (Hoffmann & Moreira 2002, Henriques 2005, Soares *et al.* 2006) y climáticas, por lo que la diversidad *beta* dentro del bioma Cerrado es considerada alta. Entre las especies que resultan interesantes por sus patrones de distribución están *Tabebuia selachidentata* (Bignoniaceae) en Tucavaca, considerada como típica de los

cerrados del sur o también conocido como abayoy (Navarro 2002, Ibsch *et al.* 2003, Navarro & Ferreira 2004) y *Stryphnodendron fissuratum* en la estancia Cacarachi, especie que tienen una distribución fragmentada y/o disyunta, conocida únicamente de algunas áreas en Mato Grosso (Brasil) y del Cerrado *sensu stricto* de las llanuras de Concepción, Santa Rosa de la Roca y San Ignacio de Velasco en el departamento de Santa Cruz.

## Conclusiones

Si bien no se tiene una superficie estandarizada para evaluar la estructura y composición arbórea del Cerrado *sensu stricto*, los resultados obtenidos en este estudio a partir de 1 ha de superficie muestreada son representativos, ya que se llega a registrar a más del 80% de las especies esperadas sobre dicha superficie. Las tres primeras especies de ambas áreas estudiadas llegan a acumular a más del 70% del IVI, lo que indica que las fisionomías de estas comunidades vegetales están definidas por un número reducido de especies de todo el conjunto que la conforma. La distribución de las densidades de árboles según las clases diamétricas en la zona de Tucavaca indicó que la frecuencia de quemas anuales está llegando a alterar la estructura en la comunidad vegetal, produciendo un desequilibrio en la distribución de individuos en sus clases diamétricas, pudiendo causar procesos de satanización según el orden sucesional del Cerrado *sensu lato*. La diversidad de árboles fue mayor en Tucavaca (zona sur), por tener una cierta influencia de la flora del Chaco, lo cual la caracteriza y por lo que se la considera diferente a las otras regiones de Cerrado *sensu stricto* en Bolivia. A diferencia de otras zonas de Brasil y Bolivia los valores de diversidad de la zona central y sur aquí estudiadas son bajos; sin embargo esto se atribuye fundamentalmente a las diferencias metodológicas utilizadas.

## Agradecimientos

Al proyecto Biomas Tropicales en Transición (TROBIT) por la instalación de las parcelas permanentes y a sus representantes, Jon Lloyd y Timothy Killeen. Al proyecto Diversidad de los Cerrados del Oriente Boliviano, financiado por la Darwin Initiative (Oxford University) y al departamento de investigación del programa de Post Graduación de la Universidad de Brasilia (DPP), por el respaldo económico en los viajes de campo realizados para colecta de especímenes. También al Herbario del Oriente Boliviano (USZ) del Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado por el apoyo institucional y físico durante la etapa de identificación y análisis de datos.

## Referencias

- Araujo-Murakami, A., F. Bascopé, V. Cardona, D. de-la-Quintana, A. Fuentes, P. Jørgensen, C. Maldonado, T. Miranda, N. Paniagua-Zambrana & R. Seidel 2005. Composición florística y estructura del bosque amazónico preandino en el sector del Arroyo Negro, Parque Nacional Madidi, Bolivia. *Ecología en Bolivia* 40(3): 281-303.
- Beck, S. G., T. J. Killeen & E. García. 1993. Vegetación de Bolivia. Pp. 6-24. En: Killeen, T. J., E. García & S. G. Beck (eds.). Guía de Árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia - Missouri Botanical Garden, La Paz.
- Borges, H. B. N. & G. J. Shepherd. 2005. Flora e estrutura do estrato lenhoso numa comunidade de Cerrado em Santo Antônio do Leverger, MT, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 28(1): 61-74.
- Campos, E. P., T. G. Duarte, A. V. Neri, A. F. Silva, J. A. A. Meira-Neto & G. E. Valente. 2006. Composição florística de um trecho de cerradão e cerrado *sensu stricto* e sua relação com o solo na floresta nacional (Flona) de Paraopeba, MG, Brasil. *Revista Árvore* 30 (3): 471-479.
- Chao, A. & S. M. Lee. 1992. Estimating the number of classes via sample coverage. *Journal of the American Statistical Association* 87: 210-217.
- Coutinho, L. M. 1978. O conceito de Cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 1: 17-23.
- Eiten, G. 1972. The Cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review* 38: 201-341.
- Felfili, J. M. & M. C. Silva Júnior. 2005. Diversidade alfa e beta no Cerrado *sensu stricto*, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. Pp. 143-154. En: Scariot, A., J. C. Sousa-Silva & J. M. Felfili (eds.). Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação. República Federativa do Brasil: Ministério do Meio Ambiente, Brasília DF.
- Felfili, J. M. & C. W. Fagg. 2007. Floristic composition, diversity and structure of the "Cerrado" *sensu* on rocky soils in northern Goiás and Southern Tocantins, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 30(3): 375-385.
- Gentry, A. 1982. Patterns of Neotropical plant species diversity. *Evolutionary Biology* 15: 1-84.
- Gottsberger, G. & I. Silberbauer-Gottsberger. 2006. Life in the Cerrado: a South American tropical seasonal ecosystem. Origin, structure, dynamics and plant use. AZ Druck und Datentechnik GmbH. Kempten, Kempten. 277 p.
- Henriques, R. P. B. 2005. Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma do Cerrado. Pp. 75-92. En: Scariot, A., J. C. Sousa-Silva & J. M. Felfili (eds.). Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília DF.
- Hoffmann, A. W. & A. G. Moreira. 2002. The role of fire in population dynamics of woody plants. Pp. 159-177. En: Oliveira, P. S. & J. R. Marquis (Eds.). The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna. Columbia University Press, Nueva York.



- Ibisch, P. L., S. G. Beck, B. Gerkmann & A. Carretero. 2003. Ecorregiones y ecosistemas. Pp. 47-88. En: Ibisch, P. L. & G. Mérida (Eds.). Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación. Edit. FAN, Santa Cruz.
- Killeen, T. J. & T. S. Schulenberg. 1998. Rapid assessment program: a biological assessment of Parque Nacional Noel Kempff Mercado, Bolivia. Conservation International, Fundación Amigos de la Naturaleza, Missouri Botanical Garden, Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Washington, DC. 372 p.
- Klink, C. A. 1992. A comparative study of the ecology of native and introduced African grasses of the Brazilian savannas. Tesis de doctorado, Universidad de Harvard, Cambridge. 206 p.
- Kronka, F. J. N., M. A. Nalon, C. K. Matsukuma, M. Pavão, J. R. Guillaumon, A. C. Cavalli, E. Giannotti, M. S. S. Iwane, L. M. P. R. Lima, J. Montes, I. H. Del-Cali & P. G. Haack. 1998. Áreas de domínio do cerrado no estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Instituto Florestal, São Paulo. 253 p.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Instituto de Silvicultura, Universidad de Göttingen, Eschborn. 335 p.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey. 179 p.
- Matteucci, S. & A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Serie de Biología, Monografía N° 22, Secretaria General de la OEA, Washington D.C. 168 p.
- Mendonça, R. C., J. M. Felfili, B. M. T. Walter, M. C. Silva Júnior, A. V. Rezende, T. S. Filgueiras, P. E. Nogueira & C. W. Fagg. 2008. Flora vascular do bioma Cerrado: Checklist com 12.356 espécies. Pp. 417-1279 (Vol 2). En: Sano, S. M., S. P. Almeida & J. F. Ribeiro (eds.) Cerrado: Ecologia e Flora. EMBRAPA-Informação Tecnológica. Brasília DF.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manual y tesis, Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza. 83 p.
- Mostacedo, B. & T. Killeen. 1997. Estructura y composición florística del cerrado en el Parque Nacional Noel Kempff Mercado, Santa Cruz, Bolivia. Boletín de la Sociedad Botánica de México 60: 25-43.
- Mostacedo, B. & T. Fredericksen. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. BOLFOR, Santa Cruz. 50 p.
- Navarro, G. 2002. Vegetación y unidades biogeográficas de Bolivia. Pp. 1-500. En: Navarro, G. & M. Maldonado (eds.). Geografía Ecológica de Bolivia. Vegetación y Ambientes Acuáticos. Centro de Ecología Simón I. Patiño-Departamento de Difusión, Cochabamba.
- Navarro, G. & W. Ferreira. 2004. Zonas de vegetación potencial de Bolivia: Una base para el análisis de vacíos de conservación. Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental 15: 1-40.
- Neri, A. V., J. A. A. Meira Neto, A. F. da Silva, S. V. Martins & M. L. Batista. 2007. Análise da estrutura de uma comunidade lenhosa em área de Cerrado *sensu stricto* no município de Senador Modestino Gonçalves, Norte de Minas Gerais, Brasil. Sociedade de Investigações Florestais 31(1): 123-134.
- Palmer, M. W. 1990. The estimation of species richness by extrapolation. Ecology 71(3): 1195-1198.
- Phillips, O. L., T. R. Baker, R. Brien & T. R. Feldpausch. 2010. Field manual for plot establishment and remeasurement. URL: <http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/>.
- Pivello, V. R. & L. M. Coutinho. 1996. A qualitative successional model to assist in



- the management of Brazilian Cerrados. *Forest Ecology and Management* 87: 127-138.
- Ratter, J. A., S. B. Wridgewater & J. F. Ribeiro. 2003. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation III: Comparison of the woody vegetation of 376 Areas. *Edinburgh Journal of Botany* 60(1): 57-109.
- Reatto, A., J. R. Correia, S. T. Spera & E. S. Martins. 2008. Solos do bioma Cerrado. Pp. 107-149 (Vol. 1). En: Sano, S. M., S. P. de Almeida & J. F. Ribeiro (Eds.). *Cerrado: Ecologia e Flora*. EMBRAPA-Infomação Tecnológica, Brasília DF.
- Ribeiro, J. F. & B. M. T. Walter. 2008. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. Pp. 150-211 (Vol. 1). En: Sano, S. M., S. P. de Almeida & J. F. Ribeiro (Eds.). *Cerrado: Ecologia e Flora*. EMBRAPA-Infomação Tecnológica, Brasília DF.
- Rodrigues, C. A. G. 1999. Efeitos do fogo e da presença animal sobre a biomassa aérea e radicular, nutrientes do solo, composição florística, fenologia e dinâmica de um campo de capim-carona (*Elionurus muticus* (Spreng.) O. Ktze.) no Pantanal (Sub-região de Nhecolândia). Tesis de doctorado, Universidad Estadual de Campinas, Campinas. 282 p.
- Saporetto Júnior, A. W., J. A. A. Meira Neto & R. d. P. Almado. 2003. Fitossociologia de Cerrado *sensu stricto* no Município de Abaeté-MG. *Revista Árvore* 27(3): 413-419.
- Soares, J. J., M. H. A. O. Souza & M. I. S. Lima. 2006. Twenty years of post-fire plant succession in a "Cerrado" de São Carlos, SP, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 66(2B): 587-602.
- Walter, B. M. T. 2000. Fitofisionomias do Bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. Tese de doctorado, Universidade de Brasília, Brasília DF. 389 p.